

Hochdichte Kugeln für effizienteres Mahlen

S. Lehmann, L. Benker; F. Peukert;
K. Scheidt, A. Müller, B. Scharfe

1. Einleitung

Die Nassvermahlung ist eine in vielen Industriezweigen verbreitete Technik zur Verarbeitung von Dispersionen. Sie ermöglicht die Fein- und Feinstvermahlung von Produkten unter Einhaltung höchster Qualitätsanforderungen. Eine wichtige Rolle spielen dabei die eingesetzten Mahlkörper. Um verschiedene Produktanforderungen zu erfüllen, werden üblicherweise verschiedene Kugelarten verwendet. Bei deren Auswahl müssen u. a. die Kugelgröße, das Kugelmaterial, das Verschleißverhalten und die Mahldauer berücksichtigt werden. Die verwendeten Mahlkörper sind nicht nur für die Zerkleinerung selbst wichtig, sondern haben darüber hinaus das Potenzial, den Mahlprozess selbst zu optimieren. So ist es im Hinblick auf die erforderliche Zeit oder den Energieverbrauch besonders vorteilhaft, keramische Kugeln mit einer hohen Dichte zu verwenden.

Diese Arbeit untersucht die Zerkleinerung allgemein gebräuchlicher Werkstoffe (ZrO_2 und Al_2O_3) mit verschiedenen keramischen Mahlkugeln. Verwendet werden dazu Kugeln aus ZrO_2 nach dem aktuellen Stand der

Technik, hochreine Al_2O_3 -Kugeln sowie neu entwickelte hochdichte Kugeln aus einem Wolframkarbid- ZrO_2 -Verbundwerkstoff. Die Ergebnisse werden hinsichtlich Endproduktgröße, Mahlgut, Energieeintrag, Mahldauer und Verschleißverhalten verglichen und diskutiert.

2. Versuchsaufbau

Alle Mahlversuche wurden in Kreisfahrweise mit einer Netzsch MiniPur Labor-Rührwerkskugelmühle mit einem Füllvolumen von 140 ml und einem Mahlkörperfüllgrad von 85 Vol.-% durchgeführt. Bei jedem Versuch kamen neue, unbenutzte Kugeln zum Einsatz. Es wurden drei verschiedene Kugeltypen mit jeweils gleicher Größenverteilung untersucht (Tabelle 1):

- **SiLibeads® Typ ZY 6.0:** Yttriumstabilisierte Zirkoniumoxid-Kugeln, die dem Stand der Technik entsprechen.
- **SiLibeads® Typ A 99.99:** Hochreine Al_2O_3 -Kugeln mit Aluminiumoxidgehalt von 99,99 %.
- **SiLibeads® Typ TC 9.5:** Neu entwickelte Kugeln aus einem Kompositwerkstoff aus Wolframkarbid und yttriumstabilisiertem Zirkoniumoxid mit hoher Dichte.

Als Mahlgut dienten in der Industrie gebräuchliche Materialien, ZrO_2 und Al_2O_3 , die mit den verschiedenen Kugeltypen auf produktionstypische Zielkorngröße d_{90} gemahlen wurden (Tabelle 2).

Tabelle 1: Eigenschaften der eingesetzten SiLibeads®

	ZY 6.0	A 99.99	TC 9.5
Durchmesser / [mm]	0,4-0,6	0,4-0,6	0,4-0,6
Dichte / [g/cm³]	6,0	3,8	9,5
Härte	1300 HV ₁₀	n.a.	1600 HV _{0,5}
Füllgewicht / [g]	510,0	321,5	816,0
Beanspruchungsenergie / [10⁻³ Nm]	0,091	0,071	0,085

Tabelle 2: Eigenschaften des Mahlguts

	ZrO ₂	Al ₂ O ₃
Feststoffgehalt / [%]	70	55
Feststoffgehalt / [g]	2500	2000
Zielkorngroße d90 / [µm]	0,4	0,5

Für jeden Kugeltyp wurde aufgrund der unterschiedlichen Dichten eine ausreichend große, aber dennoch vergleichbare Beanspruchungsenergie durch verschiedene Rührergeschwindigkeiten v_T eingestellt. Begrenzt wurde v_T entweder durch die maximal zulässige Temperatur der Labormühle von 40 °C oder durch die maximal mögliche Drehzahl. Geeignete Einstellparameter wurden in Vorversuchen ermittelt. Während der Versuche wurden in regelmäßigen Abständen der Mahlfortschritt anhand der Partikelgrößenverteilung des Mahlguts mit einem Malvern 3000 Mastersizer aufgenommen, bis die jeweilige Zielpartikelgröße d90 erreicht wurde (Tabelle 2). Jeder Mahlversuch wurde für jeden Kugeltyp und jedes Mahlprodukt

mindestens dreimal wiederholt. Neben dem Mahlfortschritt wurden auch die Mahldauer, die eingesetzte Energie und die Temperatur aufgenommen. Nach Beendigung des Mahlprozesses wurde der Mahlkugelverschleiß aus dem Gewichtsverlust der Kugeln im Vergleich zum Füllgewicht bestimmt.

3. Ergebnisse und Diskussion

Abbildung 1 zeigt für beide Mahlprodukte die Abnahme der Partikelgröße d90 bis zur jeweiligen Endfeinheit in Abhängigkeit der spezifischen Energie für jeden Kugeltyp. Weitere in den Versuchen ermittelte relevante Parameter und zugehörige Ergebnisse sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

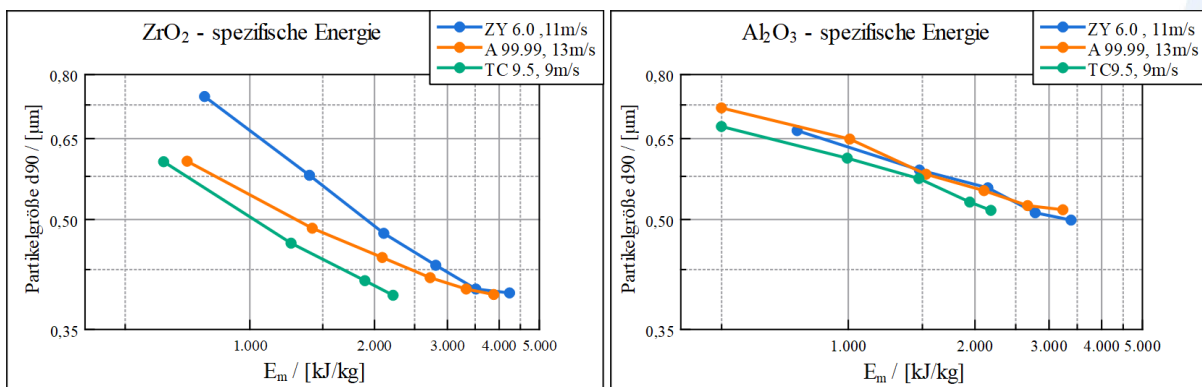


Abbildung 1: Abnahme der Korngröße (d90) von ZrO₂ (links) und Al₂O₃ (rechts) als Funktion der spezifischen Energie für jeden Kugeltyp.

Tabelle 3: Für die Mahlprodukte ermittelte Parameter und Ergebnisse pro Kugeltyp.

Aufmahlung von ZrO₂ mit:	ZY 6.0	A 99.99	TC 9.5
Rührergeschwindigkeit v _t / [m/s]	11	13	9
Mahldauer / [min]	360	360	210
Mittlerer Energieeintrag bis d90 erreicht / [kWh]	2,94	2,70	1,53
Mittlerer Kugelabrieb / [%/h]	0,022	2,696	0,054

Aufmahlung von Al₂O₃ mit:	ZY 6.0	A 99.99	TC 9.5
Rührergeschwindigkeit v _t / [m/s]	11	13	9
Mahldauer / [min]	300	360+	300
Mittlerer Energieeintrag bis d90 erreicht / [kWh]	1,88	2,40	1,62
Mittlerer Kugelabrieb / [%/h]	1,718	1,449	0,974

Bei beiden Produkten wird bei vergleichbarer Beanspruchungsenergie mit den **SiLibeads[®] Typ TC 9.5** die gewünschte Zielfeinheit d90 in der kürzesten Mahldauer erreicht. Gleichzeitig ist der mittlere Energieeintrag reduziert. Die neu entwickelten, hochdichten **SiLibeads[®] Typ TC 9.5** sparen im Mahlprozess somit nicht nur Energie und Zeit, sondern ermöglichen zudem einen besseren Leistungseintrag in das Produkt.

Auch beim über den prozentualen Gewichtsverlust pro Mahldauer berechneten durchschnittlichen Verschleiß zeigen die **SiLibeads[®] Typ TC 9.5** ein verbessertes Verschleißverhalten im Vergleich zu den anderen Kugeltypen, insbesondere wenn hochabrasives Mahlgut vermahlen wird.

4. Fazit

Die Ergebnisse zeigen das hohe Potenzial der **SiLibeads[®] Typ TC 9.5** sowohl in etablierten Mahlprozessen als auch in Dispergier- und Mahlanwendungen mit harten, abrasiven Materialien. Unter vergleichbaren Prozessbedingungen wurden in kürzerer Prozesszeit je nach Mahlgut nicht nur vergleichbare, sondern sogar bessere Ergebnisse in der Materialfeinheit erzielt. Aufgrund der Materialeigenschaften der **SiLibeads[®] Typ TC 9.5** sowie der daran angepassten Mühlenparameter reduzierte sich auch der Energieverbrauch. Weitere Verbesserungen der Zerkleinerungsleistung von **SiLibeads[®] Typ TC 9.5** sind möglich, wenn der spezifische Energieeintrag und die Beanspruchungsenergie für bestimmte Mühlen und Prozessbedingungen weiter angepasst und optimiert werden.



TC 9.5